مهندسی عمران فردوسی،۳٦، ۱، ۱٤۰۲. (۵۰-۳۵)



مهندسی عمران فردوسی

https://civil-ferdowsi.um.ac.ir/



پیش‌بینی تقاضای سفر با استفاده از روشهای سری زمانی میانگین متحرک خود همبسته (مطالعه موردی: آزادراه قم-تهران)*

مقاله پژوهشی

حسن خاکسار[۱] سید احمد الماسی[۲] محمد مهدی خبیری[۳] امیر گلرو[٤] حسن بهمنی[۵]

DOI: 10.22067/jfcei.2023.77217.1157

چکیده *کیفیت جریان ترافیک یکی از مشخصات اصلی شبکه حمل و نقل است که کاربرد فراوانی در مسائل مرتبط با برنامه‌ریزی شهری، اولویت‌بندی مسیرها، کاهش تراکم ترافیک و زمان سفر دارد؛ بنابراین برآورد میزان حجم ترافیک و پیش‌بینی آن در آینده یکی از مسائل مهم برنامه‌ریزان حوزه حمل و نقل است. مسئله پیش‌بینی، مستلزم مدل‌سازی و تعیین متغیرهای تأثیرگذار روی تغییرات پدیده‌ای خاص است. در این پژوهش به پیش‌بینی تقاضای سفر با استفاده از روشهای سری زمانی پرداخته شده است. داده‌های موردنیاز این تحقیق، از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای تهیه گردیده است. در این مطالعه به منظور ساخت مدل، از دو فرآیند اتورگرسیو و میانگین متحرک با رویکرد باکس-جنکینز استفاده شده است. با استفاده از روشهای فوق، میزان تقاضا در سالهای آتی تا افق ۱٤۰٤ در آزادراه قم-تهران پیش‌بینی شده است. نتایج مطالعه نشان داد، از بین مدلهای خود همبسته و میانگین متحرک و تلفیق دو مدل یعنی میانگین متحرک-خود همبسته، مدل سوم دقت قابل‌قبولتری دارد. پارامترهای این مدل ARMA (٤،۵) به دست آمد. همچنین صحت‌سنجی مدل ساخته شده، بر اساس مقدار میانگین درصد خطای مطلق، ۰/۰٤۷، مقادیر R و R^2 به ترتیب ۰/۹٤ و ۰/۸۹ محاسبه شد که نشان می‌دهد مدل از دقت قابل قبولی برخوردار است.*

واژه‌های کلیدی تقاضای سفر، سری زمانی میانگین متحرک خود همبسته، روش باکس-جنکینز، مدل پیش‌بینی.

Forecasting Travel Demand using Self-Correlated Moving Average Time Series Methods (Case Study: Qom-Tehran Freeway)

Hassan Khaksar Seyed Ahmad Almasi Mohammad Mehdi Khabiri Amir Golroo, Hossein Bahmani

Abstract *The quality of traffic flow is one of the main characteristics of the transportation network, which is widely used in issues related to urban planning, route prioritization, reducing traffic congestion and travel time; Therefore, estimating the volume of traffic and predicting it in the future is one of the important issues for transportation planners. The problem of prediction requires modeling and determining the variables affecting changes in a particular phenomenon. In this research, travel demand is predicted using time series methods. The data required for this research have been prepared from the Roads and Transportation Organization. In this study, in order to build a model, two autoregressive processes and moving average have been used. Using the above methods, the amount of demand in the coming years up to the horizon of 1404 on the Qom-Tehran freeway is predicted. The results of the study showed that among the self-correlated and moving average models and the combination of two models, namely the self-correlated moving average, the third model has a more acceptable accuracy. The parameters of this model (4,5) ARMA were obtained. Also, the validity of the constructed model, based on the average value of absolute error percentage, was 0.047, R and R2 values were calculated 0.94 and 0.89, respectively, which shows that the model has acceptable accuracy.*

Keyword travel demand, time series, Box-Jenkins method, Prediction model.

* تاریخ دریافت مقاله ۱٤۰۱/۳/۲۹ و تاریخ پذیرش آن ۱٤۰۱/۱۱/۲۳ می‌باشد.

(۱) نویسنده مسئول: دکتری حمل‌ونقل، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

Email: h.khaksar@iau-tnb.ac.ir

(۲) دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشگاه بین المللی امام خمینی قزوین.

(۳) دانشیار، انشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد.

(٤) استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

(۵) دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشگاه یزد.

مقدمه

حمل و نقل به عنوان یکی از مهمترین بخشهای زیربنایی هر کشور در تحرک و پویایی جامعه جهت دستیابی به اهداف برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از اصلیترین عواملی که می‌تواند در امر سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزیهای کلان مدیران ارشد کشور به‌منظور تحقق اهداف فوق نقش هدایت‌کننده‌ای را ایفا کند، پیش‌بینی تقاضای سفر است. به منظور برنامه‌ریزیها و مدیریتهای کلان ملی در سالهای آتی، پیش‌بینی میزان حجم تقاضای سفر مورد نیاز است.

اگر میزان تقاضای سفر وضع موجود در دسترس باشد می‌توان برای سالهای آینده میزان تقاضای سفر را پیش‌بینی کرد. آزادراه تهران-قم کریدور اصلی محور شمال به جنوب است که سهم بسیار زیادی در انتقال کالا (سالانه حدود ۶۰۰ میلیون تن) و مسافر از شمال به جنوب کشور را دارا می‌باشد [1]. از این آزادراه به‌طور پیوسته و در تمام روزهای سال خصوصاً در مناسبتهای مذهبی حجم بالای وسایل نقلیه عبور می‌کند؛ بنابراین پیش‌بینی تقاضای سفر برای این محور امری ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو به منظور پیش‌بینی صحیح از میزان تقاضای سفر در مبادی و مقاصد مختلف، جهت حصول اطمینان از نیاز به احداث مسیرهای مختلف در سالهای آتی، لازم است تا از روشهای دقیقتری در فرایند پیشبینی، استفاده گردد. تقاضای سفر در شرایط فعلی به‌وسیله مطالعات ترافیکی و برآورد حجمی قابل برآورد است اما از آنجایی‌که عوامل مؤثری در کاهش یا افزایش میزان تقاضای سفر به‌صورت یکنواخت یا غیر یکنواخت وجود دارد نمی‌توان از میزان تقاضای سفر در شرایط فعلی به طور مستقیم برای برنامه‌ریزی در افقهای بلندمدت استفاده کرد. بدین‌منظور با استفاده از اطلاعات تقاضای سفر فعلی و نیز یافتن عوامل مؤثر و تأثیرگذار در میزان رشد این سفرها و همچنین استفاده از الگوها و مدلهای تحلیلی برای پیش‌بینی تقاضای سفر در سال طرح، می‌توان میزان تقاضای سفر در افقهای بلندمدت را پیش‌بینی نمود در بین روشهای پارامتری روش سریهای زمانی؛ لیکن فرایندی بسیار عمومی و در عین حال پیچیده‌اند [2]. زیرا به دلیل وجود همبستگیهای شدید بین پارامترهایش می‌تواند برای پیش‌بینی پدیده‌ها در آینده بر اساس مقادیر اولیه رویکرد مناسبی ارائه دهد [3]. در این مطالعه از روش سری زمانی اتورگرسیو، میانگین متحرک، میانگین متحرک خود همبسته به منظور پیش‌بینی تقاضای سفر استفاده گردیده است.

پیشینه موضوعی

موضوع تقاضای سفر برای برنامه‌ریزی در شرایط فعلی و کوتاه‌مدت (برنامه‌ریزی برای همان سال) و افقهای بلندمدت از اهمیت زیادی برخوردار است. محققان زیادی در این زمینه تحقیقاتی انجام داده‌اند [1; 2, 4-9]

در مطالعات پیشین استفاده از مدل‌سازی سنتی تقاضای حمل و نقل بر اساس سفرهای مجزا، چالشهای فراوانی را ایجاد کرده و باعث تغییر و تحول در این‌گونه مدلها شده است. اکثر محققان مدلهای پیش‌بینی را با مقادیر نمونه‌ای و بدون کالیبراسیون توسعه داده‌اند، لیکن پارامترهای ورودی این مدلها بر بسیاری از نتایج استخراج شده، به ویژه پیش‌بینی الگوی جریان ترافیک، می‌تواند تأثیرگذار باشد. در مطالعه‌ای به پیش‌بینی تقاضای سفر هوایی با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده در سفرهای برون ایالتی مربوط به فرودگاه‌های مختلف ایالات متحده پرداخته شده است در این مطالعه، پیش‌بینی تعداد کل مسافران با استفاده از متغیرهای کلان اقتصادی انجام شده است. نتایج مطالعه نشان داد که روشهای استفاده شده به‌طور مؤثر از همبستگی بین پارامترهای سفرهای هوایی، در فرودگاه‌های مختلف استفاده می‌کنند [4].

در پژوهش دیگر به‌منظور پیش‌بینی تقاضای سفر از مدلهای خود همبسته و مدل خطی اتورگر سیو در سری زمانی ا ستفاده شده ا ست. در این مطالعه اطلاعات ماهیانه ترکیه و کشورهای اتحادیه اروپا طی بازه ۱۹۹۷ الی ۲۰۱۶ مورد برر سی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل غیر خطی نمی‌تواند پیش‌بینی مدل غیرخطی را بهبود بخشد [5]. در مطالعه دیگری، یک مدل چندمنظوره سری زمانی بر مبنای تئوری همگام سازی برای تحلیل ارتباط مسافر و پرواز در فرودگاه‌های آلمان بین سالهای ۲۰۱۶-۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفته است. این مطالعه رویکردهای مدل سری زمانی و مدل چهار مرحله‌ای را توصیف می‌کند و مزایا و معایب هر دو رویکرد مدل کلاسیک و جدید را مورد بحث قرار داده و پیشنهادهایی در ارتباط با این موضوع ارائه کرده است [10]. وجود همبستگیهای شدید بین پارامترهای سری زمانی می‌تواند برای پیش‌بینی تقاضای آینده بر اساس

مقادیر اولیه رویکرد مناسبی ارائه دهد [11]. در مطالعه‌ای در ایالات متحده از روش پیش‌بینی جدیدی استفاده شده است که همبستگی ذاتی بین پارامترهای مؤثر در تقاضای اولیه و پایانی را بررسی کرده است. سپس اعتبار سنجی داده‌ها با استفاده از قسمتی از داده‌های اصلی و مقایسه آن با نتایج مدلهای پیشنهادی انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان داده است همبستگی بین پارامترهای سری زمانی می‌تواند به طور چشمگیری دقت پیش‌بینی دقیق تقاضای آینده را بهبود بخشد [3].

بنابراین از بین روشهای پیش‌بینی موجود، روشهای سری زمانی کاربرد زیادی در پیش‌بینیهایی دارد که داده‌های مسئله به صورت دنباله‌ای در دسترس است. این روش می‌تواند نتایج دقیقی را ارائه کند [11]. به‌عنوان مثال در پژوهشی به کاربرد شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی سریهای زمانی و مقایسه آن با مدل ARIMA پرداخته شده است. مقایسه مقادیر برآورد شده با مقادیر واقعی در این مطالعه نشان داده است مدل شبکه عصبی نسب به مدل ARIMA دقت بالاتری دارد[12]. ارزیابی مقایسه‌ای دقت مدلهای سری زمانی، اتورگرسیو (AR)، میانگین متحرک (MA)، میانگین متحرک خود هم بسته (ARMA) در پیش‌بینی با استفاده از داده‌های روزانه و ماهانه نشان داد که مدل ARIMA دارای بالاترین دقت در بین مدلهای سری زمانی جهت داده‌های نا ایستا می‌باشد (13;14). بنابراین از آنجایی که اطلاعات تردد وسایل نقلیه از نوع سری زمانی نا ایستا می‌باشند بنابراین می‌توان با استفاده از ARIMA پیش‌بینی قابل قبولی ارائه نمود. در مطالعه دیگری به ارزیابی مدلهای تک متغیره، چند متغیره و تلفیقی سری زمانی در پیش‌بینی و برآورد متوسط بار رسوب سالانه برای ٤٢ ماه متوالی پرداخته شده است. در این مطالعه از روشهای سری زمانی ARIMA، مدل چند متغیره ARMA و مدل تلفیقی از این دو پرداخته شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل چند متغیره تلفیقی از دقت بالاتری نسبت به سایر مدلها برخوردار است [15, 16]. از این مدلها در زمینه پیش‌بینی کوتاه مدت تعداد مسافر هم استفاده شده است و عملکرد آن در مقایسه با مدل کلاسیک خود توزیع تجمعی میانگین متحرک، مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقایسه پیش‌بینی مدلهای مذکور، با استفاده از آزمون آماری و محاسبه دقت پیش‌بینی، نشانگر عملکرد بهتر روش برنامه‌ریزی چند جمله‌ای است [17]. در پژوهش دیگری تقاضای مسافر با استفاده از روش سری زمانی پیش‌بینی شده است. در مطالعه فوق برای ارزیابی عملکرد مدلها از درصد میانگین خطای مطلق و میانگین ریشه مربعات خطا استفاده شده است [18]. مدل کلاسیک خود توزیع تجمعی میانگین متحرک (ARMA) جهت پیش‌بینی مقادیر آتی متغیرها با استفاده از مقادیر متغیر در دوره‌های گذشته به کار می‌رود. مطالعات انجام شده در این زمینه نیز در بیشتر موارد حاکی از برتری روشهای نوین می‌باشد [19 ,20]. در مطالعه‌ای از مدلهای سری زمانی برای پیش‌بینی تقاضای سفر در محور خراسان به روش باکس–جنکینز استفاده شده است. در این مطالعه دلایل متعددی برای انتخاب این روش عنوان شده است که عمده‌ترین آنها وابسته یا همبسته بودن تقاضای سفر در فصلها و ماههای مختلف سال و همچنین تکرار رفتاری منظم در دوره‌های زمانی با طول ثابت می‌باشد. مدل برازش شده نهایی، از الگوی فصلی ARIMA یا به‌طور خلاصه (SARIMA) تبعیت کرده و حداقل ٪۹۵ دقت در پیش‌بینی را دارا می‌باشد [21,16].

همان گونه که ملاحظه شد، پیش‌بینی تقاضای سفر به منظور برنامه‌ریزیهای استراتژی ملی بسیار حائز اهمیت است. بنابراین انتخاب روش مناسب برای پیش‌بینی نیز ضروری است. رو شهایی که پیش از این برای مدل سازی و پیش‌بینی تقا ضای سفر استفاده شده است عمدتاً بر مبنای روشهای چهار مرحله‌ای بوده‌اند. بنابراین پیش‌بینیها غالباً با روش رگرسیون و روش شبکه عصبی، بر اساس نتایج مطالعات مبدأ– مقصد انجام‌گرفته است و با استفاده از پارامترهایی چون جمعیت–درآمد–هزینه–سرانه مالکیت خودرو بین مبادی و مقاصد به پیش‌بینی سفر پرداخته شده است. باید توجه داشت که در مسیرهای برون‌شهری خصوصاً مسیر کریدورهای اصلی کشور، میزان تردد وسایل نقلیه وابسته به سفرهای عبوری بوده که مبدأ–مقصد آنها لزوماً شهرهای ابتدا و انتهای مسیر نیستند. بنابراین مدلهای رگرسیون و شبکه عصبی ممکن است نتوانند برآورد عددی قابل قبولی برای آینده ارائه دهند. همچنین باید در نظر داشت مدلهای سری زمانی از دقت بالاتر و وابستگی کمتری بین متغیرها برخوردار است. به همین منظور در این پژوهش از مدلهای سری زمانی که وابسته به میزان تردد عبوری در مسیرها می‌باشد استفاده شده است. محور مورد مطالعه در این پژوهش قسمتی از آزادراه شماره ۷ راههای ملی کشور ایران در مسیر قم–تهران (آزادراه خلیج فارس) می‌باشد.

داده‌ها و روش تحقیق

مفاهیم. در این بخش مفاهیم اصلی الگوهای سریهای زمانی اتورگرسیو- میانگین متحرک (ARMA) که در الگوسازی وضعیت‌های دنیای واقعی، از اهمیت زیادی برخوردار است مورد بحث قرار می‌گیرد.

- اتورگرسیو- میانگین متحرک(ARMA)

- فرایندهای اتورگرسیو:(AR)

یک سری زمانی مجموعه‌ای از مشاهدات xt است که هر کدام در زمان خاص t جمع‌آوری شده‌اند. در فرایندهای اتورگرسیو همان‌طور که از اسم آنها مشخص است رگرسیون روی داده‌های زمانی قبلی انجام می‌شود. فرایند اتورگرسیو مرتبه p ام Xt در معادله زیر صدق می‌کند و آن را با نماد AR(p)نمایش می‌دهند.

$$X_t = \varphi_1 X_{t-1} - \varphi_2 X_{t-2} - \mathrm{L} - \varphi_p X_{t-\mathrm{p}} + \mathrm{a}_t \qquad (۱)$$

X_t را سری زمانی مشاهده شده فرض کرده و a_t را یک سری اغتشاش خالص یعنی دنباله متغیرهای تصادفی مستقل و هم توزیع با میانگین صفر در نظر می‌گیرند. یک فرایند خطی کلی را می‌توان به‌صورت ترکیب خطی وزن‌دار از جملات حال و گذشته فرایند اغتشاش خالص نشان داد. $\emptyset$ هم به‌عنوان ضریب در نظر گرفته‌شده است.

X_t را سری زمانی مشاهده شده فرض کرده و a_t یک سری اغتشاش خالص یعنی دنباله متغیرهای تصادفی مستقل و هم توزیع با میانگین صفر در نظر می‌گیرند. یک فرایند خطی کلی را می‌توان به‌صورت ترکیب خطی وزن‌دار از جملات حال و گذشته فرایند اغتشاش خالص نشان داد. Φ هم به‌عنوان ضریب در نظر گرفته‌شده است.

- فرایند میانگین متحرک: (MA)

فرمول تابع خودهمبستگی فرایند $MA_{(q)}$ کلی به صورت رابطه (۲) خواهد بود:

$$\rho_K \begin{cases} \dfrac{-\theta k + \theta 1 \theta k + 1 + \mathrm{L} \ + \theta q - k \theta q}{1 + \theta 1^2 + \theta 2^2 + \mathrm{L} \ + \theta q\ 2} & k = 1, 2, \ldots q \\ 0 & k \geq q \end{cases}$$

(۲)

اگر قسمتی از سری AR و بخشی MA فرض شود، در این صورت یک الگوی ARMA به دست می‌آید. گوییم Xt یک فرایند مرکب اتورگرسیو-میانگین متحرک از مرتبه p*q است و با نماد ARMA(p,q) نمایش داده می‌شود هرگاه

$$X_t = \varphi_1 X_{t-1} - \varphi_2 X_{t-2} - \mathrm{L} \quad - \varphi_p X_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \mathrm{L} - \theta_q a_t - q$$

(۳)

در این رابطه θ ها ضرایب میانگین متحرک هستند. مدلهای ARIMA از انعطاف‌پذیری بالایی در امر پیش‌بینی برخوردار بوده و در زمینه سریهای زمانی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک مدل ARIMA از سه فرایند تشکیل‌شده است: بخش خود همبسته (AR)، بخش تفاضل‌گیر برای حذف روند و تضمین ایستایی سری (I)، بخش میانگین متحرک (MA)، هر یک از این فرایندها خواص جداگانه مربوط به خود را در توزیعهای تصادفی دارند.

یک فرایند تصادفی زمانی پایا تلقی می‌شود که میانگین و واریانس آن در طول زمان ثابت بوده و مقدار کوواریانس بین دو دوره زمانی فقط به فاصله بین دو دوره بستگی داشته باشد، یک سری زمانی ناپایا است که هیچ یک از شرایط پایایی را نداشته باشد. مدل گام تصادفی را می‌توان مثال ساده از سری زمانی ناپایا دانست.

سری زمانی که میانگین آن تابعی از زمان باشد را پایا در میانگین گویند به عبارتی دیگر این سری زمانی باید شامل روند قطعی یا تصادفی یا هر دو روند باشد. به‌طور کلی اگر یک سری زمانی I(d) باشد پس از d بار تفاضل گیری سری I(0) به دست می‌آید؛ اما اگر یک سری زمانی پس از d بار تفاضل گیری پایا شود و با استفاده از فرایند ARMA مدل سازی شود، در این صورت سریهای زمانی به سری زمانی ARIMA(p, d, q) تبدیل می‌شود که p تعداد جملات خود رگرسیون، d نشانگر تعداد دفعات تفاضل‌گیری برای پایا شدن و q نیز تعداد جملات میانگین متحرک می‌باشد.

مدلهای ARIMA از انعطاف‌پذیری بالایی در امر پیش‌بینی برخوردار بوده و در زمینه سریهای زمانی به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک مدل ARIMA از سه فرایند تشکیل شده است: بخش خود همبسته (AR)، بخش تفاضل‌گیر برای حذف روند و تضمین ایستایی سری (I)، بخش میانگین متحرک

(MA)، هر یک از این فرایندها خواص جداگانه مربوط به خود را در توزیعهای تصادفی دارند.

یک فرایند تصادفی زمانی پایا تلقی می‌شود که میانگین و واریانس آن در طول زمان ثابت بوده و مقدار کوواریانس بین دو دوره زمانی فقط به فاصله بین دو دوره بستگی داشته باشد، یک سری زمانی ناپایا است که هیچ یک از شرایط پایایی را نداشته باشد. مدل گام تصادفی را می‌توان مثال ساده از سری زمانی ناپایا دانست.

روش تحقیق

فرایند شناسایی بر اساس مدلهای خطی از قبیل ARMA به روش باکس-جنکینز معروف بوده که شامل ٤ مرحله است. در پژوهش حاضر از اطلاعات تردد شمار (پلاک‌خوان) محور قم-تهران در یک بازه ۱۰ ساله استفاده گردیده است. جنس داده‌های موجود از جنس داده‌های سری زمانی است و با توجه به این وجه از ماهیت داده‌ها باید به مدل‌سازی آنها پرداخته شود. سری زمانی به مجموعه‌ای از مشاهدات کمی گفته می‌شود که در فواصل زمانی و به صورت متوالی اندازه‌گیری می‌شود. تکنیکهای مختلفی برای مدل‌سازی وجود دارد که از میان آنها روش پارامتری میانگین متحرک خود همبسته از جنس مدلهای سری زمانی است؛ بنابراین در این پژوهش به منظور پیش‌بینی تقاضای سفر از روش اتورگرسیو(AR) ، میانگین متحرک(MA)، میانگین متحرک خود همبسته (ARMA) مطابق روابط (٥) الی(٩) با استفاده از نرم‌افزار (ITSM) استفاده شده است.

الگوی اتورگرسیو. یک سری زمانی مجموعه‌ای از مشاهدات x_tاست که هر کدام در زمان خاص t جمع‌آوری شده‌اند. در ابتدا فرایند AR(1) با میانگین مخالف صفر در نظر گرفته می‌شود:

$$X_t - \mu = \varphi\left(X_{t-1} - \mu\right) + a_t \qquad (٥)$$

مسئله پیش‌بینی را در یک واحد زمانی آینده در نظر می‌گیریم، با تعویض t با t+1 در معادله (٥) و با داشتن $X_1,\ldots,X_{t-1},X_t$، اگر امید ریاضی شرطی دو طرف معادله بالا را در نظر بگیریم رابطه (٦) به دست می‌آید:

$$\hat{X}_l(1) - \mu = \varphi\left[E\left(X_t | X_t, X_{t-1},\ldots,X_1\right) - \mu\right] + E\left(a_{t+1} | X_t, X_{t-1},\ldots,X_1\right) \qquad (٦)$$

الگوی میانگین متحرک. برای تشریح چگونگی حل مسائلی که در پیش‌بینی میانگین متحرک یا الگوهای مرکب پیش می‌آیند، حالت MA(1) با میانگین مخالف صفر را در نظر می‌گیریم:

$$X_t = \mu + a_t - \theta a_{t-1} \qquad (٧)$$

مجدداً اگر t را با t+1 عوض کرده و امیدهای ریاضی دو طرف را در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$\hat{X}_t(1) = \mu - \theta E(a_t \mid X_t, X_{t-1},\ldots,X_1) \qquad (٨)$$

با وجود این برای یک الگوی وارون‌پذیر معادله (٩)، نشان می‌دهد که a_t تابعی از $X_t,X_{t-1},\ldots$ است. بنابراین خواهیم داشت:

$$E(a_t \mid X_t, X_{t-1},\ldots,X_1) = a_t \qquad (٩)$$

اگر قسمتی از سری را AR و بخشی را MA فرض کنیم در این صورت یک الگوی ARMA به دست می‌آید {Xt}. یک فرایند مرکب اتورگرسیو- میانگین متحرک از مرتبه p*q است و با نماد ARMA(p,q) نمایش داده می شود. بنابراین با استفاده از موارد گفته شده می‌توان با دقت قابل قبولی با روش ARMA مقدار تقاضای سفر برای سالهای آینده در مسیر قم-تهران را پیش‌بینی نمود. برای این کار داده‌های تردد شمار (پلاک خوان) ۱۰ سال محور مطالعاتی قم-تهران استخراج شده است و سپس برای سالهای آتی تا ١٤٠٤ پیش‌بینی انجام شده است. به منظور صحت‌سنجی نتایج روشهای معرفی شده سه معیار مختلف ضریب همبستگی(r)، ضریب تعیین (2R) و میانگین قدر مطلق درصد خطا Mean Absolute Percentage Error (MAPE) برای ارزیابی جوابهای حاصله به کار گرفته شدند. گام‌بندی انجام پژوهش به طور کلی در ادامه آمده است.

۱. داده‌های مورد نیاز از اطلاعات تردد شمار (پلاک خوان) به صورت ماهانه و روزانه سازمان راهداری کشور در مسیر قم-تهران استخراج گردیده است.

۲. میزان همبستگی بین متغیرهای مستقل به منظور کاهش خطا اندازه‌گیری شده است.

۳. پس از مدل‌سازی و پیش‌بینی بر اساس میزان همبستگی و میزان دقت در برآورد متغیر وابسته در هر مدل به مقایسه مدلها پرداخته شده است.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی، قسمتی از آزادراه شماره ۷ کشور است این آزادراه از بزرگراه آزادگان تهران آغاز می‌شود و در انتهای مسیر با آزادراه ذوب‌آهن اصفهان یکی می‌گردد. این آزادراه، تهران را به شهرهای قم، کاشان، نطنز، اصفهان، نجف‌آباد و فولادشهر متصل می‌کند. قسمت ابتدایی این آزادراه یعنی فاصله بین استان تهران تا استان قم را آزادراه خلیج فارس می‌نامند. قسمت بعدی این آزادراه قم–کاشان نام دارد، قسمت سوم، آزادراه اصفهان–کاشان نام دارد و در تقاطع با جاده ٦۵، با آزادراه کمربندی غرب اصفهان یکی می‌گردد. در انتها این آزادراه در تقاطع با آزادراه ذوب‌آهن اصفهان به پایان می‌رسد.

مدل‌سازی و تحلیل نتایج

آمار و اطلاعات ارائه‌شده در این قسمت بر گرفته از آمار جمع‌آوری شده توسط سازمان راهداری کشور می‌باشد. نمونه داده‌ها در جـدول (۱)، تعداد سفرهای عبوری از آزادراه خلیج فارس را نشان می‌دهد. به منظور یکسان‌سازی اطلاعات ۱۰ ساله در این محور، از اطلاعات دستگاه موجود در ایستگاه نعلبندان به عنوان اطلاعات پایه استفاده گردیده و با استفاده از سایر ایستگاهها فرایندهای پیش پردازش داده‌ها مانند حذف داده‌های پرت، شناسایی مقادیر خالی و گم شده بر روی آنها انجام شده است. لازم به ذکر است داده‌های پرت در دستگاههای پلاک خوان عموماً به دلیل خرابی دستگاه و عدم همخوانی با اطلاعات روزهای مشابه در هفته، ماه و سال بوده است. همچنین با بررسیهای به عمل آمده از اداره کل راهداری و حمل و نقل جاده‌ای مشخص گردید بعضی از دستگاهها در مدتی از سال خاموش یا خراب بوده است (داده‌های از دست‌رفته). ثبت اطلاعات بعد از ترمیم دستگاه یک فاصله عددی زیاد با اعداد قبلی ثبت شده ایجاد خواهد کرد بنابراین در بعضی از موارد به ناچار این داده‌ها حذف و یا به روش درون‌یابی داده‌های مابین شناسایی شده است.

به‌منظور یکپارچه‌سازی نوع وسایل نقلیه از وسیله نقلیه معادل سواری استفاده گردیده است. تبدیل وسایل نقلیه سنگین به معادل سواری بر اساس نشریه ٤۱۵ وزارت راه و شهرسازی بر اساس شیب و نوع منطقه تعیین گردیده است. با استفاده از اطلاعات جدول (۲) حجم کامیونها و درصد شیب‌محور، ضریب همسنگ سواری برای وسایل نقلیه سنگین ۱/۵ در نظر گرفته‌شده است. جدول (۳) میزان وسایل نقلیه عبوری به صورت ماهانه در نظر گرفته شده از سازمان راهداری و تبدیل شده به معادل سواری را نشان می‌دهد. در شکل (۱) بازه تغییرات فصلی در مقایسه با فراوانی داده‌های تردد نشان داده شده است که نشان دهنده نمونه ای از نحوه حذف روند و مؤلفه‌های فصلی و به دست آوردن ثبات تقریبی در سطح و تغییرات زمان است. در جدول (٤) اطلاعات لازم برای مدل‌سازی به روش سری زمانی دسته‌بندی شده است. همان‌گونه که در روش تحقیق ذکر شد تغییرات روی داده‌ها به‌منظور ایستا کردن داده‌های سری زمانی به کار می‌روند. به‌ویژه آنها برای حذف روند و مؤلفه‌های فصلی و به دست آوردن ثبات تقریبی در سطح و تغییرات زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل (۲) روند اصلاح شده داده‌ها به‌منظور مدل‌سازی را نشان می‌دهد. در شکل (۳) نمودار هیستوگرام باقی‌مانده‌ها ترسیم شده است و شکل (٤) آزمون نرمال کولموگروف–اسمیرنوف باقی‌مانده‌ها را نشان می‌دهد. جدول (۵) و شکل (۵) نتایج پیش‌بینی مدل ARMA (٤،۵) را برای مسیر رفت نشان می‌دهد. برای مسیر برگشت از تهران به قم با استفاده از مدل در نظر گرفته شده به همین شیوه قابل برآورد است.

علاوه بر موارد ذکر شده در ارتباط با دقت مدلها به‌منظور صحت‌سنجی تعداد ۲۰ درصد از داده‌ها را برای هر یک از مدلها به عنوان تست در نظر گرفته شده است و سپس با ارزیابی مقادیر خطا به معرفی بهترین مدل برای پیش‌بینی این محور پرداخته می‌شود..

جدول ۱ تعداد سفرهای عبوری از آزادراه خلیج فارس (هزار سفر) از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹٦

مبدأ– مقصد	تهران	شمال کشور	سایر محورها	کل محورها	درصد عبوری از آزادراه نسبت به سایر ترددهای استان	درصد عبوری نسبت به کل ترددهای آزادراه خلیج فارس
اصفهان	۲۱٦۲٤	۹۸۸	۱٤۹۸۷۲	۱۷۲۸٥٤	۱۱/۳۱	۲۱/۷۸
ایلام	٤٥۰۹	۲۹۸	۲۰۰۳	۲٤۸٥۷	۱۹/۳۸	٤/٦۳
بوشهر	۱۳۷۳	٥	۳٤۸۰	۳٦۱۷۹	۳/۸۱	۱/۳۳
یاسوج	۱٤٥٦	۱۷	٦۳۳۸۸	٦۷۸۱۲	۲/۱۸	۱/٤۲
بیرجند	۱۰۲۰	٤٦۲	۲۰۳۸۰	۲۱۸٥۲	٦/۷٤	۱/٤۲
اهواز	۳٥۹۹	۱۹	۱۱٥٤٥٥	۱۱۹۰۷	٦/۰٤	۳/٤۸
زاهدان	۲۳٥۱	٤	۷۰۳۳٦	۷٦۹۲۳	۳/۲٤	۲/۲۷
شیراز	٦۱۳۳	۱۸۲	۱٤۹۱٤٥	۱٥٥۸٤۷	٤/۰٦	٦/۰۸
کرمان	۱٦۸۰	۱۰	٦۲۱۸٤	٦۳۸۱۸	۲/٦٥	۱/٦۳
کرمانشاه	۸۱۸۲	۲٥٦	۸۷٦٤٤	۹٦۰۸۲	۸/۷۸	۸/۱۳
شهرکرد	٦۲۹	۱	۱٥٤۳٥	۱٦۰٦٤	۳/۹۲	۰۰/٦۱
خرم‌آباد	۱۰۲٤۳	۱٤	٥۰۳٤۹	٦۰٦۰٦	۱٦/۹۲	۹/۹۸
اراک	۱٤٥۷۷	۱۰۷	۲۷۸۹۲	٤۲٥۸۷	۳٤/٤۹	۱٤/۱٤
بندرعباس	۷۷٤	۱	۱٥٥۷٦	۱٦۳٥۱	٤/۷٤	۰/۷٥
همدان	۱۳۲۳۹	۸۸	۷۲٤۳٥	۸٥۷٤۲	۱٥/٥٥	۱۲/۸٤
یزد	۱٦٤۳	۱٤	۱٥۳۹٦	۱۷۰۲٦	۰۹/۷۳	۱/٦۰
قم	۸۰٦۹	۲۷٤	۱۷٥۲٥	۲٥۸٦۸	۳۲/۲٥	۸/۰٤
جمع	۱۰۱۱۰۳	۲۷۳۰	۱۰۹٤٤۲٥٦	۹۹۰٦٥۷	۱۰۰	۱۰۰

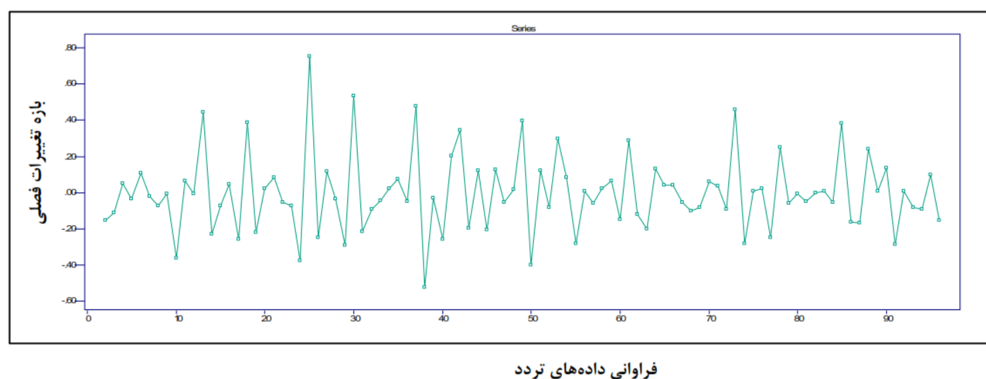
جدول ۲ ضریب معادل سواری وسایل نقلیه سنگین

شیب(٪)	طول(کیلومتر)	ET درصد وسایل نقلیه سنگین			
		٥	۱۰	۱٥	۲۰
<٤	-	۱٫٥	۱٫٥	۱٫٥	۱٫٥
٤-٥	<٦٫٤	۱٫٥	۱٫٥	۱٫٥	۱٫٥
٤-٥	>٦٫٤	۲	۲	۲	۱٫٥
>٥-٦<	<٦٫٤	۱٫٥	۱٫٥	۱٫٥	۱٫٥
>٥-٦<	>٦٫٤	٥٫٥	٤	٤	۳
>٦	<٦٫٤	۱٫٥	۱٫٥	۱٫٥	۱٫٥
>٦	>٦٫٤	۷٫٥	٦	٥٫٥	٤٫٥

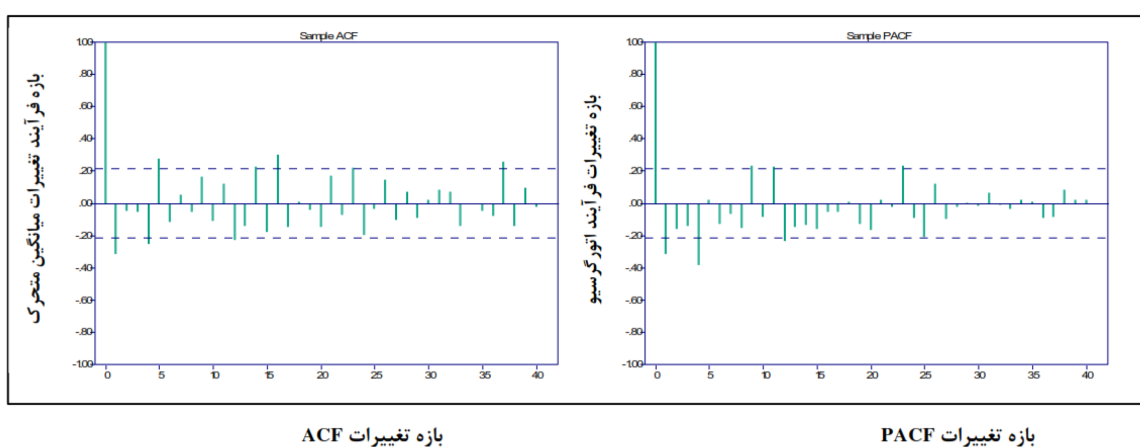
جدول ۳ اطلاعات به دست آمده تردد سفر در آزادراه، مسیر قم-تهران

(هزار سفر- خروجی نرم‌افزارهای ثبت داده‌های سفر سازمان راهداری وحمل ونقل جاده‌ای)

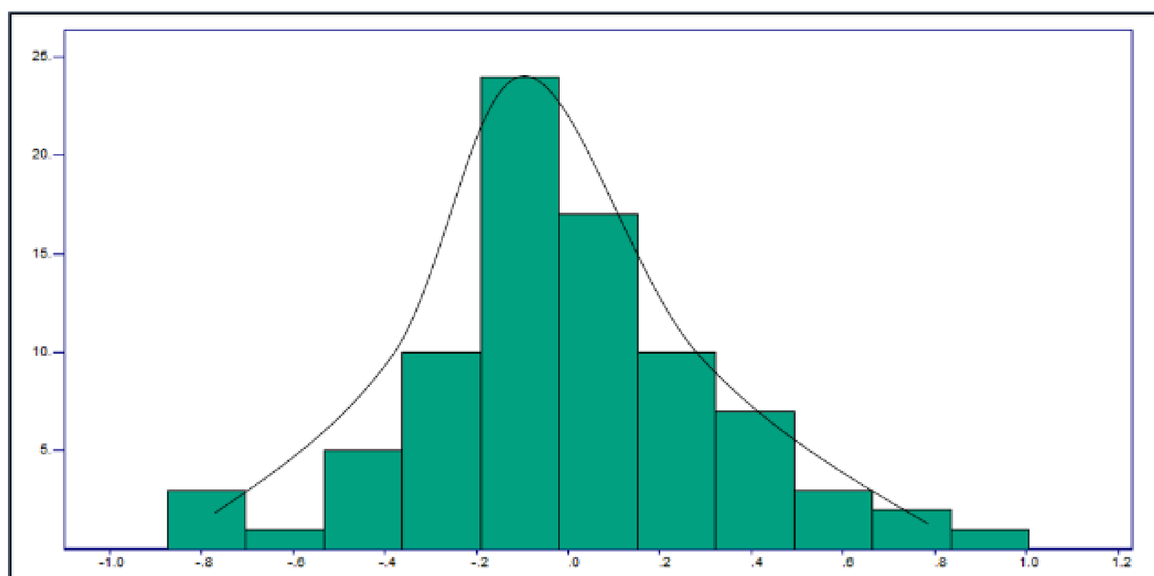
۱۳۸۷		۱۳۸۹		۱۳۹۱		۱۳۹۳		۱۳۹۵	
فروردین	٢٦٤٥٣٥	فروردین	١٠١٦٢٥٣	فروردین	٩٢٧٩٠٦	فروردین	۱۱۳۷۸۲۹	فروردین	۱۱۹۲۱۳۰
اردیبهشت	۲۱۰۸۲۷	اردیبهشت	۸۷۲۲۲۵	اردیبهشت	۷۲۴۳۵۰	اردیبهشت	۷۶۲۷۵۲	اردیبهشت	۸۹۹۸۹۸
خرداد	۲۳۱۵۷۴	خرداد	۷۸۰۳۸۴	خرداد	۸۱۲۶۷۲	خرداد	۸۶۳۱۲۷	خرداد	۹۰۷۲۱۸
تیر	۳۱۱۰۶۲	تیر	۸۲۰۴۵۹	تیر	۷۸۳۸۶۶	تیر	۷۹۵۲۱۷	تیر	۹۲۸۰۲۶
مرداد	۳۴۱۴۴۷	مرداد	۷۹۱۹۲۰	مرداد	۵۸۶۳۲۱	مرداد	۱۰۷۰۱۰۲	مرداد	۷۲۲۹۰۱
شهریور	۳۵۰۹۹۳	شهریور	۸۸۳۶۸۱	شهریور	۹۹۹۶۴۰/۵	شهریور	۱۱۶۲۲۸۴	شهریور	۹۲۹۴۹۲
مهر	۳۳۹۱۰۸	مهر	۸۶۴۰۷۵	مهر	۸۰۸۲۷۱/۵	مهر	۸۷۶۷۸۵	مهر	۸۷۶۳۷۰
آبان	۳۴۷۶۲۹	آبان	۸۰۴۷۲۴	آبان	۷۳۸۸۰۶/۵	آبان	۸۸۴۰۹۸	آبان	۸۶۹۷۲۶
آذر	۳۵۰۱۱۱	آذر	۸۰۱۲۶۱	آذر	۷۰۸۶۶۲/۵	آذر	۸۳۵۶۳۴	آذر	۸۲۷۲۱۶
دی	۵۲۶۳۵۰	دی	۵۵۹۱۹۸	دی	۷۲۵۲۳۶/۵	دی	۸۵۴۸۰۲	دی	۸۲۶۸۹۰
بهمن	۶۲۶۲۸۶	بهمن	۵۹۵۶۷۵	بهمن	۷۸۱۸۱۴	بهمن	۹۱۴۳۹۹	بهمن	۸۳۴۸۴۸
اسفند	۸۵۲۶۳۹	اسفند	۵۹۱۰۵۸	اسفند	۷۴۴۳۴۱	اسفند	۷۸۹۵۰۰	اسفند	۹۷۹۱۵۵۴
۱۳۸۸		۱۳۹۰		۱۳۹۲		١٣٩٤		١٣٩٦	
فروردین	۸۲۲۷۵۹	فروردین	۹۲۰۹۶۷	فروردین	۱۲۰۰۲۹۱	فروردین	۱۰۵۲۵۲۸	فروردین	۱۱۶۳۳۲۷
اردیبهشت	۷۸۰۷۷۵	اردیبهشت	۷۳۲۲۱۶	اردیبهشت	۷۱۲۶۸۲	اردیبهشت	۹۳۵۱۳۲	اردیبهشت	۹۸۸۱۸۷
خرداد	۶۹۴۵۸۶	خرداد	۶۸۰۲۵۴	خرداد	۶۹۰۶۹۶	خرداد	۷۶۴۰۵۳	خرداد	۸۳۷۶۸۲
تیر	۶۷۴۸۷۴	تیر	۷۱۰۸۷۷	تیر	۵۳۵۲۶۴	تیر	۸۷۲۵۹۶	تیر	۱۰۶۴۴۰۰
مرداد	۶۹۴۲۴۷	مرداد	۵۴۸۸۷۵	مرداد	۶۵۴۹۵۴	مرداد	۹۰۸۹۰۲	مرداد	۱۰۷۱۵۲۷
شهریور	۷۹۴۵۷۲	شهریور	۸۱۰۴۱۵	شهریور	۹۲۶۱۳۲	شهریور	۹۴۷۷۴۶	شهریور	۱۲۲۹۵۷۴
مهر	۶۷۲۲۱۱	مهر	۶۵۱۷۳۰	مهر	۷۶۱۵۰۶	مهر	۸۹۷۰۴۲	مهر	۹۲۶۰۸۷
آبان	۶۴۲۱۱۰	آبان	۶۶۶۹۷۹	آبان	۸۶۰۱۶۸	آبان	۸۱۰۴۵۲	آبان	۹۳۱۶۳۸
آذر	۶۷۲۱۸۰	آذر	۷۲۳۸۹۱	آذر	۷۰۱۸۲۳	آذر	۷۴۸۵۱۰	آذر	۸۶۰۲۰۹
دی	۶۱۲۱۴۱	دی	۶۸۵۵۴۴	دی	۷۹۵۱۹۲	دی	۷۹۷۰۳۹	دی	۷۸۳۸۹۹
بهمن	۶۷۲۷۸۰	بهمن	۶۳۸۵۲۶	بهمن	۷۵۳۰۲۵	بهمن	۸۲۵۴۶۸	بهمن	۸۶۶۷۶۶
اسفند	۷۴۹۷۷۴	اسفند	۴۳۷۷۳۴	اسفند	۷۶۵۶۹۳	اسفند	۷۵۱۹۷۵	اسفند	۷۴۳۵۰۰



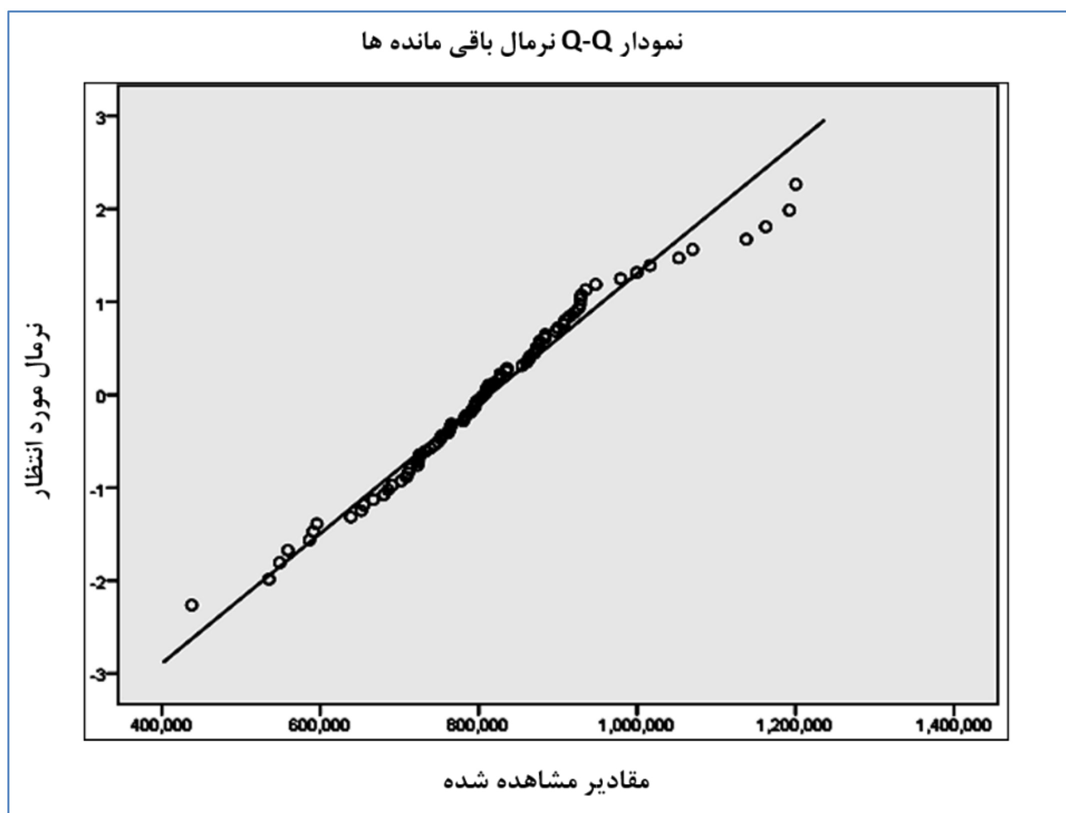
شکل ۱ حذف روند و مؤلفه‌های فصلی و به دست آوردن ثبات تقریبی در سطح و تغییرات زمان



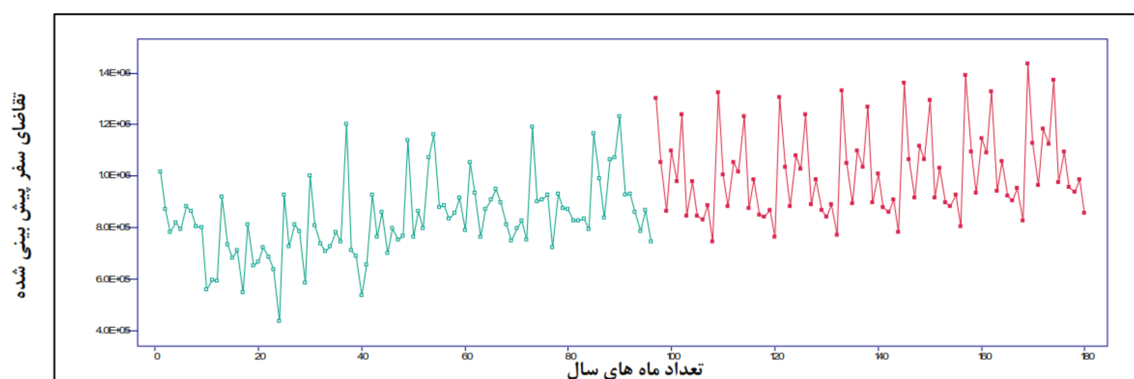
شکل ۲ نمودار توابع ACF و PACF



شکل ۳ نمودار هیستوگرام باقی‌مانده‌ها



شکل ٤ نمودار آزمون نرمال کولموگروف–اسمیرنوف باقی‌مانده‌ها



شکل ٥ نتایج پیش برای افق تا ١٤٠٤ با استفاده از مدل‌سازی ARMA

جدول ٤ نتایج آزمون نرمال بودن باقی‌مانده مدل ساخته شده

Model	Model Results
Ljung - Box statistic	= 26.117 Chi-Square = 20 p-value =0.06
McLeod - Li statistic	= 24.079 Chi-Square = 30 p-value = 0.061
Turning points	= 57.000 ~AN(54,sd = 3.79) p-value = 0.002
Diff sign points	= 39.00 ~AN(41,sd = 2.64) p-value = 0.04
Rank test statistic	= 0.16460E+04~AN(0.170E+04,sd = 0.127E+03), p-value = 0.0045

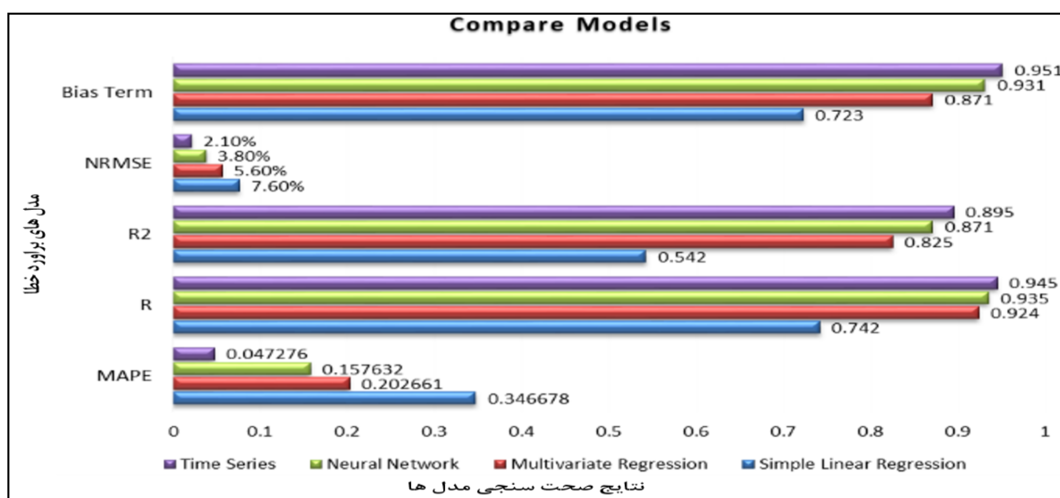
جدول ٥ نتایج پیش‌بینی مدل ARMA (خروجی نرم‌افزار پیش بینی از تعداد سفر)

۱۳۹۷		۱۳۹۹		۱۴۰۱		۱۴۰۳	
فروردین	۱۲۸۸۴۰۰	فروردین	۱۴۲۱۶۰۰	فروردین	۱۵۰۵۶۰۰	فروردین	۱۷۷۴۳۰۰
اردیبهشت	۱۰۳۲۹۰۰	اردیبهشت	۱۰۷۰۷۰۰	اردیبهشت	۱۲۵۱۷۰۰	اردیبهشت	۱۳۷۲۲۰۰
خرداد	۸۸۳۴۴۰	خرداد	۱۰۲۴۷۰۰	خرداد	۱۰۸۳۴۰۰	خرداد	۱۲۵۳۳۰۰
تیر	۱۱۲۰۲۰۰	تیر	۱۱۳۶۹۰۰	تیر	۱۳۱۳۳۰۰	تیر	۱۴۸۴۹۰۰
مرداد	۱۰۷۰۸۰۰	مرداد	۱۲۴۲۷۰۰	مرداد	۱۳۵۳۸۰۰	مرداد	۱۵۱۸۲۰۰
شهریور	۱۳۰۸۷۰۰	شهریور	۱۳۶۷۲۰۰	شهریور	۱۵۲۳۱۰۰	شهریور	۱۷۷۸۶۰۰
مهر	۹۱۹۴۶۰	مهر	۱۰۲۳۲۰۰	مهر	۱۱۶۳۵۰۰	مهر	۱۲۷۷۵۰۰
آبان	۱۰۰۰۶۰۰	آبان	۱۱۰۲۰۰۰	آبان	۱۱۸۴۹۰۰	آبان	۱۴۰۱۸۰۰
آذر	۸۶۴۱۴۰	آذر	۹۱۵۰۰۰	آذر	۱۰۷۰۶۰۰	آذر	۱۱۷۹۹۰۰
دی	۸۳۹۳۷۰	دی	۹۶۵۴۰۰	دی	۱۰۲۷۷۰۰	دی	۱۲۰۰۳۰۰
بهمن	۸۹۴۲۵۰	بهمن	۹۲۳۱۹۰	بهمن	۱۰۷۶۱۰۰	بهمن	۱۲۱۷۲۰۰
اسفند	۷۶۳۹۲۰	اسفند	۸۸۸۴۴۰	اسفند	۹۶۸۰۱۰	اسفند	۱۰۹۹۷۰۰
۱۳۹۸		۱۴۰۰		۱۴۰۲		۱۴۰۴	
فروردین	۱۳۷۹۹۰۰	فروردین	۱۴۴۲۲۰۰	فروردین	۱۶۲۸۸۰۰	فروردین	۱۹۰۰۴۰۰
اردیبهشت	۱۰۲۳۹۰۰	اردیبهشت	۱۱۵۹۳۰۰	اردیبهشت	۱۳۱۵۴۰۰	اردیبهشت	۱۴۶۱۳۰۰
خرداد	۹۶۵۸۸۰	خرداد	۱۰۵۵۰۰۰	خرداد	۱۱۵۰۰۰۰	خرداد	۱۳۶۴۲۰۰
تیر	۱۱۱۷۰۰۰	تیر	۱۲۰۶۱۰۰	تیر	۱۴۱۱۱۰۰	تیر	۱۵۶۵۱۰۰
مرداد	۱۱۴۵۰۰۰	مرداد	۱۳۱۲۹۰۰	مرداد	۱۴۱۱۲۰۰	مرداد	۱۶۶۲۵۰۰
شهریور	۱۳۵۶۹۰۰	شهریور	۱۴۱۵۸۰۰	شهریور	۱۶۵۹۸۰۰	شهریور	۱۸۷۹۴۰۰
مهر	۹۴۵۰۹۰	مهر	۱۱۰۵۳۰۰	مهر	۱۲۰۷۷۰۰	مهر	۱۳۸۹۱۰۰
آبان	۱۰۷۳۶۰۰	آبان	۱۱۲۵۸۰۰	آبان	۱۲۸۷۴۰۰	آبان	۱۵۰۱۳۰۰
آذر	۸۶۸۶۴۰	آذر	۹۹۴۲۵۰	آذر	۱۱۲۵۵۰۰	آذر	۱۲۶۴۹۰۰
دی	۹۰۹۵۲۰	دی	۹۹۲۷۲۰	دی	۱۰۹۸۲۰۰	دی	۱۳۰۵۹۰۰
بهمن	۹۰۲۲۸۰	بهمن	۹۸۸۳۹۰	بهمن	۱۱۵۴۹۰۰	بهمن	۱۲۹۰۴۰۰
اسفند	۸۱۸۶۷۰	اسفند	۹۳۵۶۸۰	اسفند	۱۰۱۶۳۰۰	اسفند	۱۲۰۶۱۰۰

جدول (٦) مقادیر تست مدها و ارزیابی خطا را نشان می‌دهد. همچنین صحت‌سنجی مدل سری زمانی با استفاده از داده‌های سال ۱۳۹٦ انجام گرفته است. در جدول (٦) میزان همبستگی و خطای مطلق روش سری زمانی نمایش داده شده است که نشان می‌دهد روش سری زمانی از همبستگی و خطای قابل قبولی برای پیش‌بینی برخوردار است. شکل (۷) مقایسه مدل‌سازی سری زمانی با سایر مدلها که در مطالعات گذشته انجام گرفته است نشان می‌دهد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد مدل سری زمانی از دقت بیشتر و خطای کمتری نسبت به سایر مدلها برخوردار است.

جدول ٦ مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده برحسب ماه (تعداد سفر)

۱۳۹٦	مقادیر واقعی	مقادیر پیش‌بینی	خطای مطلق(۱۰^۳×)
	اطلاعات اولیه	سری زمانی	انحراف از مقادیر واقعی
فروردین	1163327	1194758	-31.43
اردیبهشت	988187	987241	0.94
خرداد	837682	841487	-3.805
تیر	1064400	1064157	0.243
مرداد	1071527	1069471	2.056
شهریور	1229574	1236457	-6.882
مهر	926087	927145	-1.058
آبان	931638	928471	3.167
آذر	860209	860845	-0.636
دی	783899	782541	1.358
بهمن	866766	859541	7.225
اسفند	743500	758941	-15.440
MAPE	1	0.047276	-
R	1	0.998	-
R^2	1	0.995	-
NRMSE	1	2.1%	-
Bias Term	1	0.951	-
T-Test	-1.225		-



شکل ٦ مقایسه پارامترهای صحت‌سنجی مدل سری زمانی با سایر مطالعات مشابه

نتیجه‌گیری

داده‌هایی که از برداشتهای میدانی و مطالعات ترافیکی به دست می‌آیند نمی‌توانند به تنهایی بیانگر وضعیت آینده باشند اما در صورتی که اطلاعات ترافیکی در شرایط فعلی در دسترس باشد می‌توان با مدل‌سازی میزان حجم تقاضای سفر در آینده را تخمین زد. آزادراه خلیج فارس یکی از پرترددترین و حیاتیترین محورهای موصلاتی کشور است که سالانه حجم بسیاری زیادی از کالا و مسافر را انتقال می‌دهد. داده‌های استفاده شده در این پژوهش در واقع میزان تردد وسایل نقلیه به صورت ماهانه گرفته شده از سازمان راهداری کشور است با توجه به اینکه ماهیت داده‌ها ماهیت سری زمانی می‌باشد با استفاده از مدل زمانی میانگین متحرک خود همبسته بر اساس داده‌های شرایط فعلی، مدلی توسعه یافت که بر اساس آن مقادیر تقاضای سفر برای سالهای آتی تا افق ١٤٠٤ تخمین زده شد. با توجه به اهمیت مسئله، پیش‌بینی صحیح از میزان تقاضای سفر جهت حصول اطمینان از نیاز به احداث مسیرهای مختلف لازم است تا از روشهای دقیق برای فرایند پیش‌بینی استفاده شود. از بین مدلهای اتورگرسیو (AR) و میانگین متحرک (MA) و تلفیق دو مدل یعنی اتورگرسیو-میانگین متحرک (ARMA)، مدل سوم دقت قابل قبولتری دارد. پارامترهای این مدل ARMA(4,5) به دست آمده و صحت‌سنجی مدل بر اساس مقدار خطای مطلق، همبستگی، توانایی مدل در پیش‌بینی انجام گرفت. مقادیر صحت‌سنجی بر اساس معیارهای MAPE، R، R2، NRMSE، Bias Term به ترتیب ٠/٠٤٧ و ٠/٩٤٥ و ٠/٨٩٥ و ٢/١ و ٠/٩٥١ می‌باشد که نشان می‌دهد مدل از دقت قابل قبولی برخوردار است.

سپاسگزاری

مراجع

[1] Sh. Afandizadeh, A. Momenpour, “Analysis of demand for travel analysis with approach to neural network model and regression method, case study (Khalkhal-Ardabil)”, *14th International Conference on Transport and Traffic Engineering*, 14 p. (in Persian), 2014.

[2] S. E. Kimes, “Transportation revenue management: could it work”, *Journal of Revenue and Pricing Management*, Vol. 4, No. 1, pp. 95-97, 2005.

[3] L. Misuk, “Modeling and forecasting hotel room demand based on advance booking information”, Tourism Management, Volume 66, pp. 62-71, 2017.

[4] M. Tiago, F. Dantas, C. Luiz, H. Oliveira, V. R. Miguel, “Air transportation demand forecast through Bagging Holt Winters methods”, *Journal of Air Transport Management* ,Vol. 59, pp. 116-123, 2017.

[5] M. Usman, T. Umer, S. Güven, “Forecasting performance of smooth transition autoregressive (STAR) model on travel and leisure stock index”, *The Journal of Finance and Data Science*, Vol. 4, Issue 2, pp. 90-100, 2018.

[6] G. Guo, T. Zhang, “A residual spatio-temporal architecture for travel demand forecasting”, Transportation Research Part C: Emerging Technologies ,115: 102639, 2020.

[7] T. F. Rossi, “Travel Demand Forecasting: Where are we and What are the Emerging Issues”, 2021.

[8] J. Liang, et al, “On region-level travel demand forecasting using multi-task adaptive graph attention network”, Information Sciences, 2022.

[9] K. Hamad, L. Obaid, “Tour-based travel demand forecasting model for a university campus”, *Transport Policy*, 117, pp. 118-137, 2022.

[10] C. Marc, P. B. Gelhausen, W. Dieter, “A new direct demand model of long-term forecasting air passengers and air transport movements at German airports”, *Journal of Air Transport Management*, Available online 12 April, p. 16 2018.

[11] F. Chyon, et al, “Time series analysis and predicting COVID-19 affected patients by ARIMA model using machine learning.”, *Journal of Virological Methods*, 301: 114433, 2022.

[12] A. Ghasemi, “Application of Neural Networks in Time Series Forecasting and Comparison with ARIMA Model”, *Commercial Journal*, pp. 88 to 110 (in Persian), 2001.

[13] A. Sarlak, “Comparative evaluation of AR, MA, ARMA, ARIMA time series models in predicting the stock index of Tehran Stock Exchange”, New research in management and accounting, second year, No. 3, pp. 130-145 (in Persian), 2017.

[14] A. Gupta, A. Kumar, “Two-step daily reservoir inflow prediction using ARIMA-machine learning and ensemble models”, *Journal of Hydro-environment Research* 45: 39-52, 2022.

[15] M. Nazeri Tohridi, “Evaluation of univariate, multivariate and time series compilations in predicting and estimating the average annual sediment load (Case study: Sistan River),” *Environmental Erosion Research*, pp. 52-70 (in Persian), 2016.

[16] D. Chakraborty, S. K. Sanyal, “Time-series data optimized AR/ARMA model for frugal spectrum estimation in Cognitive Radio.”, *Physical Communication*, 44: 101252, 2021.

[17] M. R. Sahbald, “Performance Comparison Genetic Planning and Time Series Pattern In the short-term forecast of passenger demand for Iranian Railways”, the Railway Research and Training Center No. 287, 6 p (in Persian), 2015.

[18] Sh. Afandizadeh, “Formulation of a Methodology for Assessing Parameters Effective on the Demand of Air Travel in Iran”, *International Journal of Engineering Sciences of Iran University of Science and Technology*, Vol. 19, p. 89-97(in Persian), 2008.

[19] M. Pourkazemi, M. Asadi, “Dynamic prediction of crude oil prices using artificial neural networks and with the use”, Master's thesis, faculty, Petroleum Systems of the Economic and Political Sciences of the Shahid Beheshti University, p. 73(in Persian), 2009.

[20] J. P. Karmy and S. Maldonado, “Hierarchical time series forecasting via support vector regression in the European travel retail industry”, Expert Systems with Applications 137: 59-73, 2019.

[21] A. Taymouri, “Designing the Mathematical Model for predicting demand for travel by train using time series of case studies: Khorasan axis”, *Eighth Railway Transportation Conference*, 15 p, 2006. (in Persian)